

PROYECTO:
RECONOCIMIENTO DE PROCESOS PRODUCTIVOS MINEROS

Muestreo de productos mineros exportables

**MINA BAJO DE LA ALUMBRERA-
MINERA ALUMBRERA LTD.**

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

PARRA Ricardo, COZZI Guillermo, DEL MARMOL Gabriel, MACHADO Gustavo

Buenos Aires, Junio de 2016



SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente: Dr. Eduardo O. Zappettini



Secretaria Ejecutiva: Lic. Silvia Chavez

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director: Dr. Martín Gozalvez

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA MINERA

Directora: Ing. Maggie Videla

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 1 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

1.- OBJETIVO:

A pedido de las autoridades de la Secretaría de Minería de la Nación se realizaron tres comisiones de servicio a las instalaciones del proyecto minero Bajo de la Alumbraera, operado por Minera Alumbraera Ltd., la primera en febrero de 2009, otra en marzo del mismo año y la última en mayo de 2011. Las comisiones quedaron conformadas por personal de la Dirección Nacional de Minería Lic. Gabriel del Mármol, y los técnicos del SEGEMAR Lic. Guillermo COZZI e Ing. Ricardo PARRA. Además del personal de la Secretaría de Minería de la Nación acompañaron a las visitas personal de ADUANA.

El objeto de las comisiones fue la obtención de muestras representativas de los productos exportables por la empresa y el relevamiento de los procesos productivos de cada sector, a saber:

Planta de concentración de Cu, Au y Ag; Planta de Concentración de Molibdeno; Circuitos gravitacionales de Au y sala de oro (ubicadas en el yacimiento minero, Dpto. Belén, Catamarca)

Planta de filtrado (Tucumán) y

Puerto Alumbraera en San Lorenzo (Sta. Fe)

2.- LA MENA:

La mineralización de Bajo La Alumbraera está constituida principalmente por calcopirita (CuFeS_2) con cantidades minoritarias de oro nativo (Au), molibdenita (MoS_2), covelina (CuS), calcosina (Cu_2S), malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$). Como minerales de ganga se presentan principalmente cuarzo, feldspatos, magnetita, hematita, biotita, pirita, galena, esfalerita, anfíboles, yeso, anhidrita y arcillas.



3.- EL PROCESO METALURGICO:

3.1.- CONCENTRACION DE COBRE Y ORO:

Es importante tener claro el proceso de beneficio a que es sometido el mineral, antes de realizar un plan de muestreo que cumpla con los objetivos; para el caso de Minera Alumbraera el proceso de concentración es mostrado en el diagrama de flujo (flow sheet) adjunto, y se puede resumir como sigue:

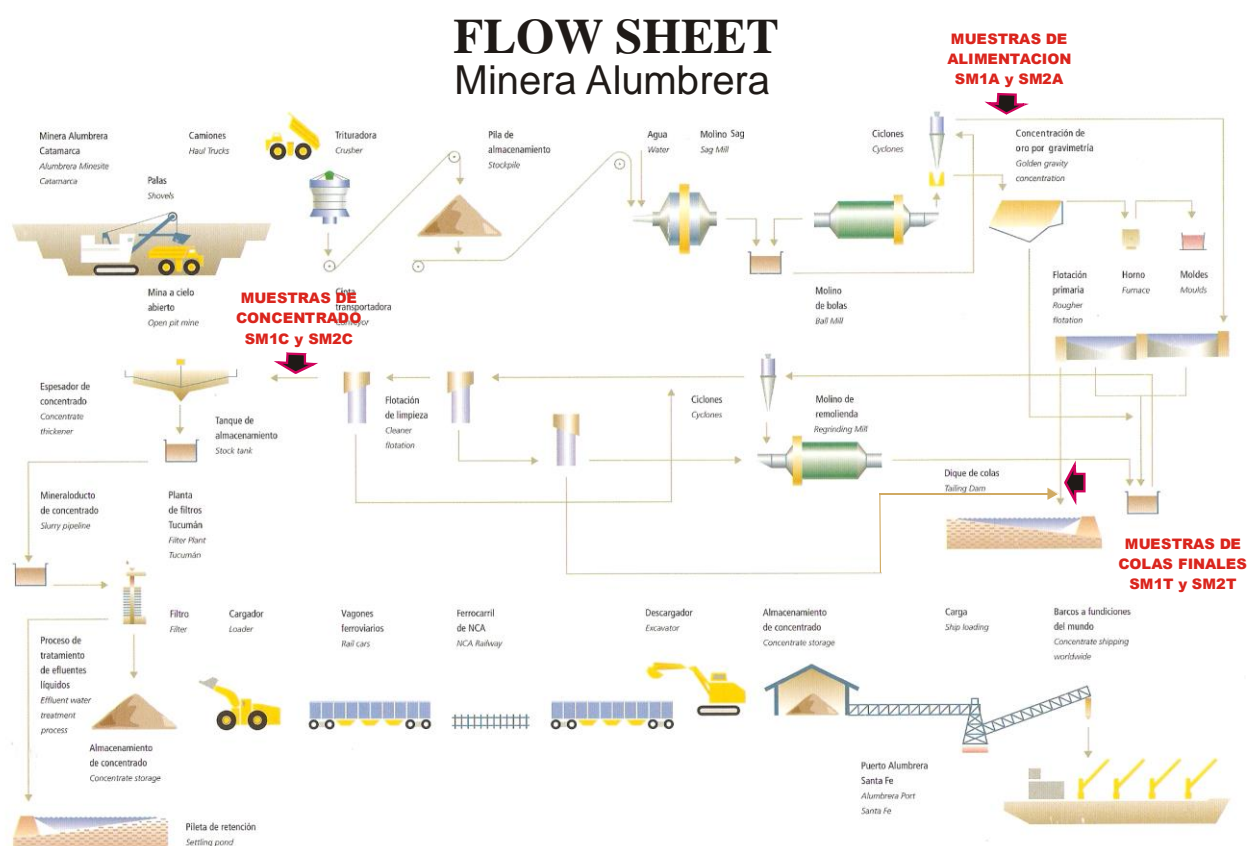
El mineral tal como viene de mina (run of mine) es sometido a un proceso de trituración primaria y reducido a un tamaño máximo de partículas de entre 20 y 30 cm de diámetro, la conminución se efectúa con un triturador giratorio, desde allí el mineral es estoqueado en pilas (stockpile), donde luego de ser clasificado y seleccionado es transportado por un sistema de cintas transportadoras a la planta de proceso (concentrador), esta fracción ya constituye el mineral de alimentación a la planta o mineral de cabeza. En adelante el mineral es tratado por dos líneas de producción paralelas e idénticas que comienzan cada una con un molino semi autógeno (SAG) de molienda en húmedo, en donde el mineral de cabeza es reducido a $-\frac{1}{2}$ “; en la misma molienda se le agregan cal viva (CaO) para ayudar a deprimir la pirita (FeS_2) y colectores para flotar la calcopirita (CuFeS_2), el oro (Au) y la molibdenita (MoS_2).

Por cada uno de los molinos SAG (esto es por cada línea), se encuentran dos molinos de bolas en paralelo entre sí, que reciben el producto del SAG y lo reducen a un tamaño 80 % - 1 mm, hay cuatro molinos de bolas en esta operación en la planta, o sea dos por línea.



 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR	
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 2 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Los molinos de bolas se encuentran trabajando en circuito cerrado con una batería de 10 hidrociclones cada una (mas dos en stand by), el over de los hidrociclones continúa al circuito de flotación, con una clase hidráulica menor a 100 micrones, mientras que el under es regresado a los molinos de bolas para remolienda. En esta operación se tomaron las *muestras de alimentación a la planta*.

Es importante destacar en esta etapa, que de cada batería de hidrociclones (4 baterías de 10 hidrociclones cada una), el under de uno de ellos es enviado, a un circuito de separación gravitacional del oro relativamente más grueso; esto representa el 10 % de del peso total de la alimentación.



Continuando con el circuito de tratamiento, el over de los hidrociclones a – 100 micrones, es enviado a circuito de flotación primaria o de limpieza (Rougher), donde se intenta flotar la mayor parte de los metales de interés. El concentrado de la flotación rougher es enviado a un circuito cerrado molienda – clasificación, donde se efectúa una remolienda, tendiente a liberar las partículas de mineral con las de ganga; el corte que efectúan los hidrociclones en este punto es de – 400 # ASTM (38 μ m), el under de los hidrociclones es enviado nuevamente al molino de bolas. En este punto y como en el caso de la molienda, el 10 % del volumen que pasa por los hidrociclones (under) es enviado a una planta gravitacional de oro, conformadas por 3 centrifugas Knelson y una Falcon, que tienen como objetivo captar parte del oro liberado en la remolienda

 <small>SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 3 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Las colas de la flotación Rougher, son enviadas directamente al dique de colas, esta fracción representa parte de las colas finales.

El concentrado de la flotación Rougher ya molido a 80 % pasante # 400 (over de los hidrociclones), es tratado por una baterías de celdas de columna en una flotación de limpieza o cleaner, las que trabajan en circuito cerrado; el concentrado de la última celda cleaner, ya representa el concentrado final, y las colas de esta flotación, luego de ser retratadas, se juntan con las colas de la flotación rougher, determinando las colas finales del proceso y son enviadas al dique de colas (*Punto de muestreo de colas*). En este punto tanto las colas como el concentrado, se encuentran en una pulpa de 30 % de sólidos.

El concentrado se colecta en un solo canal (*Punto de muestreo concentrado*) y es colocado en tanques de almacenamiento, de ahí pasa a un espesador resultando un concentrado con 65% de sólido en agua y luego colectado en tanques de almacenamiento. Parte de este concentrado, es acondicionado y conforma la alimentación a la Planta de Molibdeno; las colas de este proceso (concentrado de Cu y Au) se juntan con la porción de concentrado que no ingresó a la planta de molibdeno, luego es acondicionado en un tanque, desde ahí se transporta mediante bombeo a través de un mineraloducto de aproximadamente 370 km hasta la Planta de Filtros, ubicada en las afueras de la ciudad de San Miguel de Tucumán, donde se elimina la mayor parte del agua, resultando un concentrado con 7% de humedad promedio. El producto es cargado en vagones de ferrocarril y transportado hasta el Puerto Alumbreira, ubicado en la localidad de Puerto General San Martín, pcia. de Santa Fe, desde donde es enviado por barco a los distintos mercados mundiales.

3.2.- CONCENTRACIÓN GRAVITACIONAL DE ORO:



Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de flotación de Cu, en dos puntos del mismo se obtienen concentrados gravitacionales. En primer lugar durante la molienda, el 10 % de la alimentación es tratado por centrífugas donde se obtiene un concentrado a 100 micrones y en segundo lugar, durante el proceso de re molienda del concentrado rougher, también se obtiene un concentrado gravitacional, obtenido por centrífugas, que en este caso representa el 10 % de la masa de concentrado.

El circuito gravitacional que se intercala durante el proceso de molienda está integrado por un lado por concentradores gravitacionales, seis Knelson y dos Falcon, ubicados en la Planta de Concentración de Cobre. De igual forma, durante el proceso de re molienda, se intercala un circuito gravitacional para recuperar el oro liberado, este circuito está integrado por tres centrífugas Knelson y una Falcon.

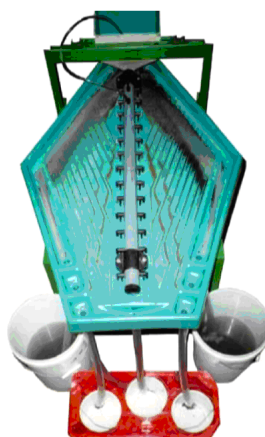
Los concentrados de los circuitos gravitacionales descriptos arriba, ingresan directamente a la sala de Oro donde son almacenados en tolvas distintas ya que poseen diferente granulometría y por lo tanto siguen el tratamiento por separado.

En primer lugar, los concentrados gravitacionales pasan por dos separadores magnéticos para eliminar las partículas de hierro producidas durante la molienda y remolienda, luego son pasados por zarandas vibratorias (1x1mm) para eliminar partículas gruesas, el concentrado gravitacional así tratado tiene una ley variable, comprendida entre 50 y 100 g/Tn de oro. Este producto es almacenado en dos tanques de 10 y 15 m³ respectivamente para luego ser procesado en mesas vibratorias Wilfley, en donde se obtiene un concentrado, colas y medianías.

El concentrado de aproximadamente 85 % de oro es secado en horno eléctrico para posteriormente ser fundido en un horno de inducción eléctrica (marca Inductherm); las medianías

 SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			 SegemAR
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	Fecha: 18/12/10 Página N°: 4 de 31	
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

de la mesa son retrabajadas mediante otra mesa concentradora Gemini y las colas vuelven al circuito de flotación del “cobre”.



MESA GEMINI

3.3.- PROCESO DE FUNDICION:

Cuando se logran estoquear aproximadamente 40 a 50 kg de concentrado de la mesa vibratoria Wilfley, en general una vez al mes dependiendo de las variaciones en el contenido de oro de la alimentación a la planta, se procede al fundido del mismo.

En la fusión se usa un horno de inducción eléctrica marca Inductherm con crisol de carburo de silicio que tiene una capacidad nominal de tratamiento de 80 kg de concentrado. Para esta cantidad se emplean los siguientes fundentes:



- 4kg de Carbonato de Sodio como neutralizador.
- 2kg de Nitrato de Potasio también como neutralizador.
- 2kg de Sílice a partir de “tierras de diatomeas” para bajar el punto de fusión.
- 2kg de Bórax como fundente.
- 200g de Fluorita para controlar la fluidez de la colada.

Una vez obtenido el fundido del compuesto se procede al decodificado, luego en la fase metálica se efectúa el llenado de las lingoteras las cuales tienen una capacidad de 10 kg cada una. El llenado de las mismas comprende un calentado previo y agregado superficial de carbonilla en las paredes internas para facilitar el desmolde de la barra doré.

La escoria producida es enviada al circuito de molienda para recuperación de metales nobles.

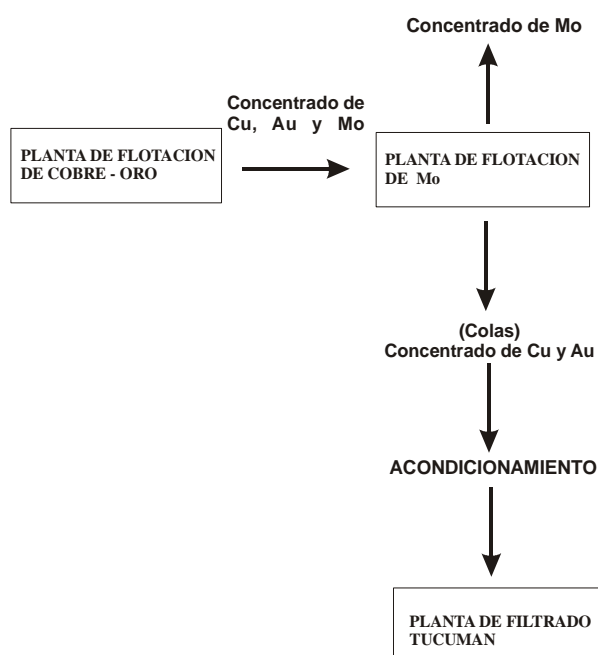
En general se obtienen por mes de 4 a 5 barras de bullón doré de 10 a 12 kg cada una. Luego de solidificadas y enfriadas a temperatura ambiente se les realiza un lavado ácido.

Los lingotes de bullón doré obtenidos tienen una composición aproximada de 85 partes de oro y 12 de plata; dicho producto se exporta actualmente a través de la aduana de Tinogasta.

 SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR	
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 5 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

3.4.- CONCENTRACION DE MOLIBDENO:

La planta de extracción de molibdeno, en términos generales es una flotación inversa, en donde se deprime el mineral de cobre y se flota la molibdenita. La alimentación de esta planta es el concentrado obtenido en la nave principal de la planta, en el proceso de flotación del cobre y el oro descrita anteriormente; el concentrado obtenido de la planta de molibdeno es el producto exportable, mientras que las colas de esta planta, son los concentrados de cobre y oro, que luego de ser acondicionado, son enviados a la planta de filtrado ubicada en la Provincia de Tucumán a través del mineraloducto; lo mencionado anteriormente, se describe en el diagrama siguiente:



La alimentación a la planta de molibdeno tiene la siguiente composición media:

Ley de Mo: 0.39 a 0,40 % Mo.

Ley de Cu: 26 % Cu



Ley de Au: 20 g/Tn.

La ley de corte del Mo es 0,3 % de Mo.

La capacidad nominal de la planta es de 1000 Tn/día, esto es 125 m³/hora de pulpa. Actualmente trabaja a 50 m³/hora y 240 Tn/día.

Básicamente, el proceso de flotación de la planta de molibdeno, consiste en aprovechar la flotabilidad natural que tiene la molibdenita, obteniéndola en el concentrado y deprimiendo los minerales de cobre que van a la cola (flotación inversa).

El proceso de la planta de molibdeno comienza al recibir concentrado colectivo de Cu-Mo desde la planta concentradora de cobre. El producto es enviado desde el espesador 2 a un cajón distribuidor ubicado sobre los tanques TK 4 Y TK5.

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 6 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Esta pulpa con un sólido de **60 %** aproximadamente (*mínimo 55%*) y un flujo volumétrico de pulpa de acuerdo al ritmo de producción que demanda la planta, es recibida en un tanque de 600 m³ en la planta de Mo, donde se realiza el acondicionamiento a un pH entre **6.0 y 7.5** de acuerdo al tipo de mineral que se procesa en el momento. Este acondicionamiento se realiza con **ácido sulfúrico** al 98%, proveniente de un tanque de stock. El consumo de ácido sulfúrico es de 30 Tn/día.

ACONDICIONAMIENTO y FLOTACION:

El proceso de flotación del molibdeno, consiste en una flotación gruesa o **Rougher** y luego tres flotaciones de limpieza o **Cleaner**, la tercera etapa cleaner se efectúa en dos celdas columnares.

Como se mencionó en el párrafo anterior, la planta de molibdeno posee un tanque de almacenamiento de pulpa de 600 m³, que cuenta con dos bombas centrifugas de velocidad variable, las cuales recirculan en el mismo tanque produciendo un mejor acondicionamiento de la pulpa.

Una vez acondicionada, la pulpa se traspasa a un segundo tanque, el que posee tres bombas de las cuales una de ellas sirve únicamente para recircular en el mismo tanque y las otras dos para alimentar al circuito de flotación **rougher**.

Este sistema permite trabajar de acuerdo a la ley de alimentación con un circuito largo o corto.

Una de las variables de la flotación es el sólido que puede variar entre los **45 a 52 %**. Esta modificación del % de sólidos se realiza mediante el agregado de agua a la pulpa hasta obtener la dilución deseada para alimentar a las celdas de flotación **rougher**.



El circuito de flotación **rougher** consta de 12 celdas Wemco (circuito largo) herméticas, auto aspirantes de 8,5 m³ de capacidad cada una, con motores de potencia nominal de 30 hp, dispuestas en bancos de 3 celdas cada uno, cuyo nivel es controlado por válvulas dardos. Otra de las variables importantes del proceso de flotación es el agregado del Sulfhidrato de sodio (Nash) al 25% mediante dos bombas en la primera celda de flotación primaria hasta lograr un potencial redox entre **-450 y -500 mv**. En parámetro el consumo es controlado por un sensor.

Otra variable importante en este proceso es el pH que, de acuerdo al tipo de mineral y las necesidades operativas, varía entre **9.0 y 9.5** generando de esta manera gas sulfhídrico, el cual es un aporte para mantener el potencial redox en lo deseado.

Depresión de Molibdenita por Calcio:

La cal se emplea en los circuitos de cobre como regulador de pH y depresor de pirita. Sin embargo debe tenerse en cuenta que también es un fuerte depresor de molibdenita, especialmente a pH > 12.0. Las partículas finas son las más sensibles (Castro y Paredes, 1977).

El mecanismo de depresión está asociado a la formación de una capa hidrofílica de especies de calcio sobre la superficie de la molibdenita. La superficie de la molibdenita, cuyo potencial zeta es negativo, es capaz de adsorber las especies catiónicas de calcio. Las especies de calcio (Ca²⁺(aq) y Ca(OH)⁺(aq)) se adsorben sobre la molibdenita, formando hidróxido de calcio, y posiblemente molibdato de calcio. Además, también puede ocurrir heterocoagulación de partículas de cal (CaO) no disueltas, portadoras de una carga superficial positiva sobre la superficie aniónica de la molibdenita.

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 7 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Activación por ácido sulfúrico:

El ácido sulfúrico mejora la flotabilidad de partículas de molibdenita dañadas por exceso de cal. La adición de ácido sulfúrico no sólo reduce el pH sino además introduce iones sulfatos, los cuales precipitarán las especies de Ca en solución (Ca^{2+} y $Ca(OH)^+$) al estado de sulfato de calcio formando yeso y anhidrita:

- a) Yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ($K_s = 2.5 \times 10^{-5}$); y
b) Anhidrita, $CaSO_4$ ($K_s = 4.2 \times 10^{-5}$).

El ácido es capaz de limpiar la superficie de la molibdenita, eliminando la capa hidrofílica de especies de calcio (Castro, Mayta y Melani, 1993; Castro y López, 1995). Esto se consigue en la industria bajando el pH hasta valores que pueden ir desde pH 6.5 a 8.5, dependiendo de la granulometría de la molibdenita y de la magnitud del daño producido por la cal. El efecto beneficioso del ácido sulfúrico depende de cuán dañada esté la molibdenita por la cal. Es así como hay plantas donde la adición de ácido tiene un importante efecto activador, mientras que en otras no logra un efecto significativo.

Mientras más bajo es el pH mejor es la flotación de Mo, pero por razones ambientales y de seguridad industrial, normalmente se trabaja a pH 8.0 – 8.5. A estos pH se produce desprendimiento de gas sulfhídrico ($H_2S(g)$), pero no constituye una condición de riesgo para las personas.



Mucho mejores resultados en la flotación de molibdenita se consiguen a pH más bajos, como por ejemplo, a pH 6.0 - 6.5. Sin embargo el desprendimiento de gases tóxicos de ácido sulfhídrico es muy alto y peligroso para la seguridad industrial. Dadas las ventajas metalúrgicas (selectividad y cinética de flotación), un par de plantas en Chile operan a estos pH's, tanto en rougher como en primera limpieza, para lo cual trabajan con celdas herméticamente selladas, lo cual les permite manejar un alto contenido de ácido sulfhídrico gaseoso. El resultado es una notable mayor selectividad en el proceso de flotación, disminuyendo el número total de limpiezas a 2 ó 3 etapas.

Las colas del circuito de flotación **Rouger** pasan por gravedad a los agitadores donde se agrega ácido sulfúrico controlando un pH entre **4,5 a 5,0** para lograr neutralizar el sulfhidrato de sodio residual que se encuentra en la pulpa, luego pasa al cajón de descarga de colas primarias, de 10,96 m³ de capacidad.

El concentrado de las celdas de flotación primaria o rougher es colectado en un tanque y bombeado a través de 2 bombas hacia la etapa de **primera limpieza**, la cual está conformada de 3 o 6 celdas Wemco de acuerdo al circuito que se esté usando (corto o largo). La capacidad de estas celdas es de 8,5 m³ cada una y motor de 30 hp. Se adiciona Nash al 25% en la primera celda de la etapa de primera limpieza para mantener el potencial Eh en **-500 mv**. El agregado de Sulfhidrato de Sodio (Nash) es para oxidar la partícula de mineral de cobre, y así deprimirla.

Las colas de esta etapa son enviadas hacia la etapa primaria de flotación o circuito Rougher.

Los concentrados de primera limpieza descargan por gravedad hacia un tanque con capacidad de 3.5 m³. Desde el cajón de alimentación 2 bombas de 15 HP alimentan a la etapa de **segunda limpieza**, celda DORR OLIVER con una capacidad de 8.5 m³ y motor de 30 HP de potencia. Se adiciona Nash al 25% en la alimentación a la celda para mantener el potencial Eh entre -480 y -500 mv.

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 8 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

En la parte inferior del circuito de flotación se encuentran dos bombas de piso para coleccionar los derrames de pulpas que puedan ocurrir.

Las colas de segunda limpieza descargan a las celdas de primera limpieza con porcentaje de sólido de 16% aproximadamente. Los concentrados de segunda limpieza descargan hacia 2 tanques de (140 m³ cada uno). En estos tanques se adiciona Nash al 25% para mantener el potencial Eh entre **-500 y -550 mv** controlado por el sensor de ORP.

El concentrado almacenado en los tanques es enviado a través de 2 bombas de 5 HP de potencia hacia un cajón distribuidor, desde el cual se alimentan a las **celdas columnares**.

La cola de la flotación columnar descarga por gravedad hacia un cajón donde se unen con el flujo del concentrado de primera limpieza regresando nuevamente al circuito de flotación de segunda limpieza. El concentrado de la flotación columnar descarga al espesador.

Leyes del concentrado:

Mo: 48 – 50%, se producen del orden de 6 toneladas de concentrado de molibdeno por día. Las colas de esta planta tienen una concentración menor a 0,09 ppm de Mo.

La **Razón de Concentración** de la Planta de Mo es de 40, con una **Recuperación** de 80 %.

ESPEADORES DE COBRE:

La cola proveniente de las celdas **rougher** es bombeada a un espesador con 2 bombas centrifugas horizontales (una en standby). El espesador es Dorr Oliver de 30 m de diámetro con capacidad para 2000 m³.



La descarga del espesador con un 60 % sólidos es bombeado con bombas centrifugas horizontales de 60 HP (una en standby) al cajón en dilución; donde se agrega agua fresca (*se agrega para realizar un lavado y poder reducir la concentración de sulfatos en dilución con el agua fresca*) obteniéndose una pulpa que es bombeada a otro espesador mediante dos bombas centrifugas horizontales. Desde allí es bombeado a los diferentes puntos donde se puede realizar las descargas. Esta maniobra se realiza de acuerdo a las necesidades operacionales, con un sólido de 65 % aproximadamente. En caso de realizar la descarga en el cajón lavador que se encuentra sobre el espesador n°:2, se lleva a cabo otro lavado para bajar los sulfatos de la pulpa a los valores requeridos, para su posterior ingreso a tres tanques y ser bombeado a través del mineraloducto.

En los espesadores se genera un rebalse de agua clara las que se envían al canal de colas que desembocan en el dique de Mo. A estos espesadores se le adicionan floculante en el centro de cada uno de ellos según nos indique la turbidez del agua clara.

ESPEAMIENTO DEL CONCENTRADO DE Mo.

El espesador de concentrado final de molibdeno posee 15 m. de diámetro con un motor de 10 HP de potencia. El agua clara del espesador de molibdeno es recirculada al proceso.

La descarga del espesador se realiza mediante dos bombas tornillo de 1 HP de potencia, estas envían hacia los cajones distribuidor de pulpa, el flujo de descarga de las bombas es de 0.9 m³/hrs. con un sólido aproximado de 55%.

 <small>SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 9 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Estos cajones trabajan uno permanente y otro en stand by descargando por gravedad hacia los tanques de almacenamiento de concentrado de molibdeno. Una vez que se obtuvo el nivel de llenado optimo y realizado los controles necesarios (% sólidos, ley de Cu y Mo), la pulpa es enviada a través de las bombas tornillo de 1HP hacia los cajones distribuidores de pulpa, los que distribuyen la pulpa hacia la etapa de filtrado de concentrado final de molibdeno (filtro principal) o un flujo alternativo hacia dos tanques.

FILTRADO, SECADO Y EMBOLSADO DEL CONCENTRADO DE Mo.

El filtro utilizado es un filtro de cuatro discos de vacío de 1,85 m (actualmente con un solo disco). El agua de la etapa de filtrado se envía al espesador de molibdeno.

El concentrado filtrado, con un porcentaje de sólidos del 80% aproximadamente, se envía hacia el disgregador precalentador y luego a un secador de discos Dorr Oliver. La descarga del secador de concentrado, con un 99% de sólidos aproximadamente, se descarga al tornillo alimentador y a tolva de envasado.

El sólido cae en una tolva de almacenamiento de concentrado de molibdeno de capacidad 31 m³ con una densidad de 4.3, una gravedad especifica de 4.4, un tamaño de partículas D50=25, una ley de Mo=48 % y de cobre menor a un 3 %.

El silo alimenta a la embolsadora a través de un alimentador a gusano.

La embolsadora envasa bolsones (big bag) de 1 m³ con un peso aproximado de 1,6 a 1,8 tn.

Esto constituye el producto final con una ley de Molibdeno de 48-52%; un valor de humedad menor a 4%, densidad de 2.00; insolubles menores al 5% y Cobre menor al 3%.

El proceso descrito para la Planta de Mo, se puede ver en el Flow Sheet adjunto.



SECRETARÍA DE
MINERÍA DE LA
NACIÓN

MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.

Ejecución: Ing. Ricardo Parra
Lic. Guillermo A. Cozzi
Lic. Gabriel del Mármol

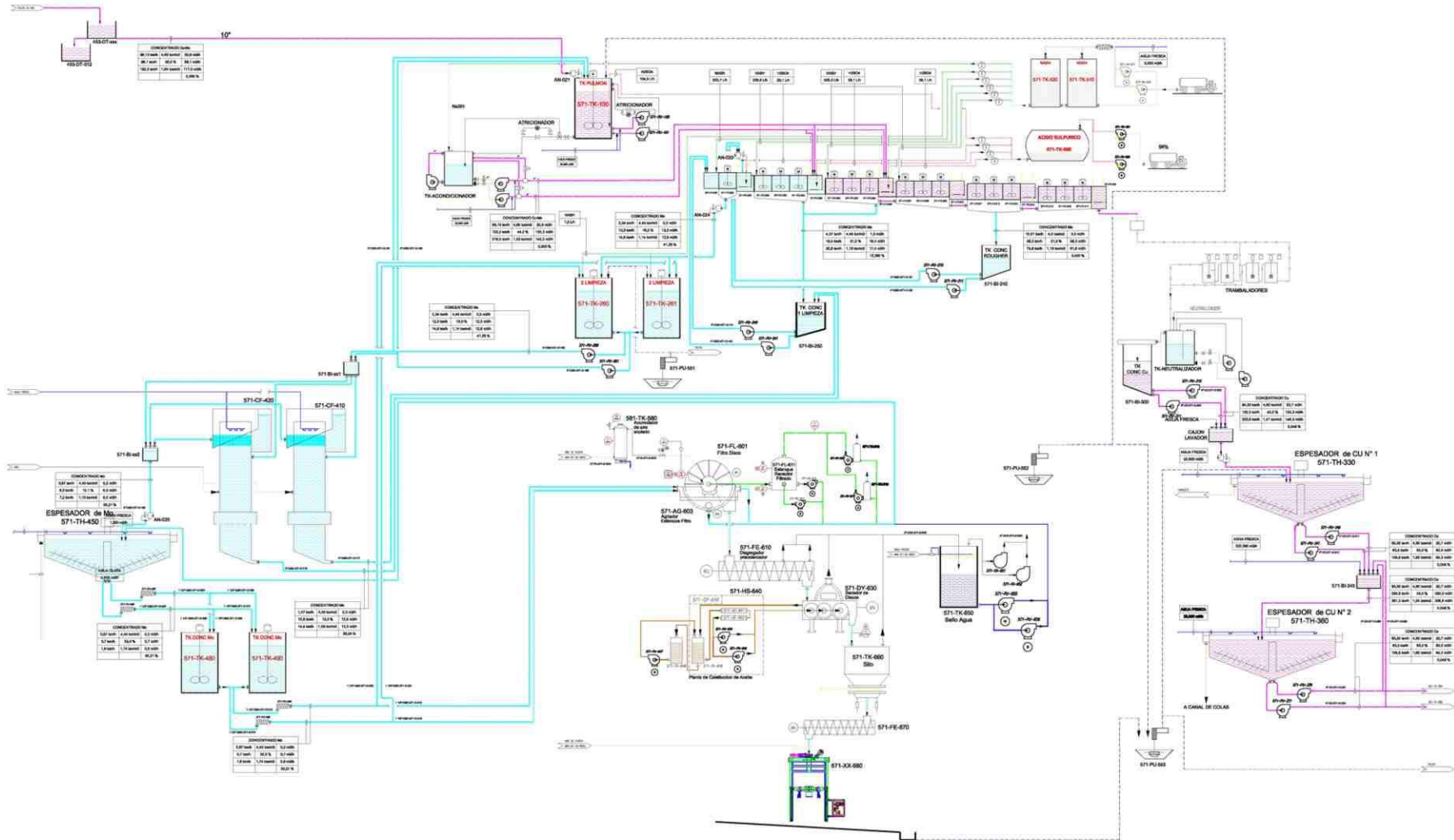
Revisión: Lic. Gustavo Machado



INFORME FINAL
Revisión: 5 de 25/6/16

Fecha: 18/12/10
Página N°: 10 de 31



FLOW SHEET PLANTA DE MOLIBDENO



 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 11 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

3.5.- PLANTA DE FILTRADO:

Está ubicada en la Ruta 302 a la altura del Km 16.5 camino a la localidad de Ranchillos en la Provincia de Tucumán.

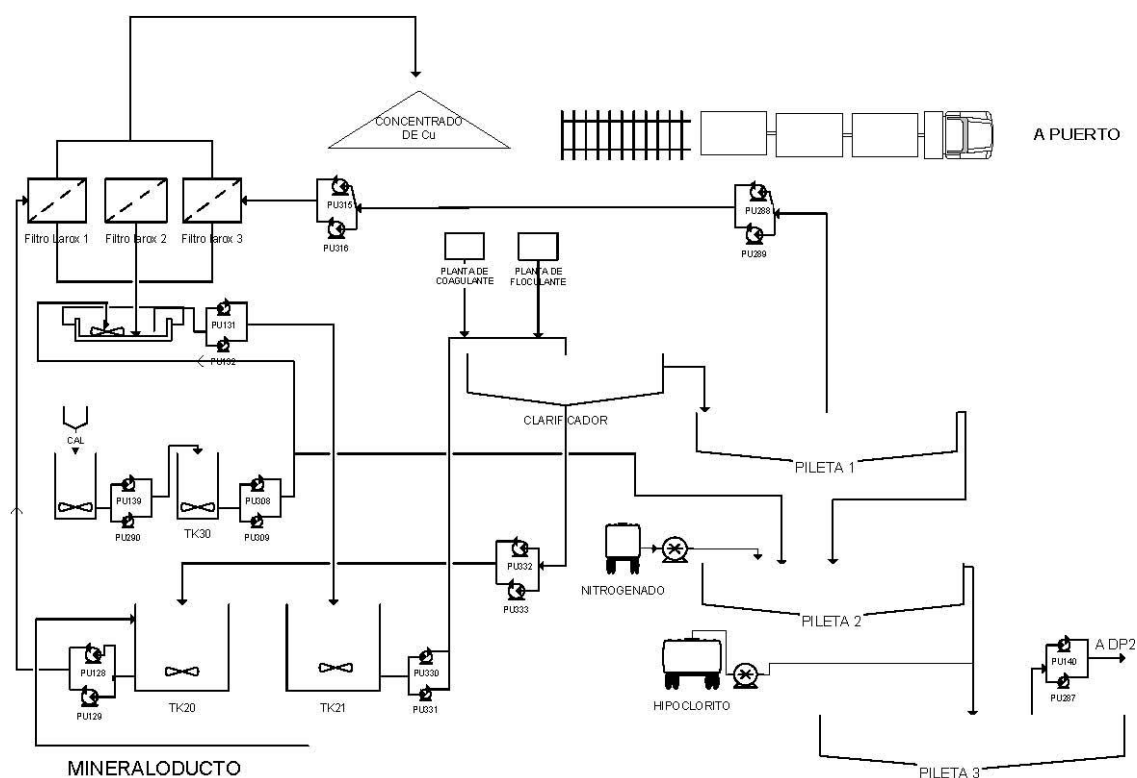
El objetivo de la misma es la filtración de la pulpa de concentrado de cobre proveniente de Planta de Concentrado en Mina y que llega a Tucumán por medio de un mineraloducto y contiene entre 62 y 65 % de sólidos, a un producto con 7,5 a 8 % de humedad final para ser cargado en trenes con destino a Puerto Alumbraera (San Lorenzo, Pcia. de Santa Fe)

El agua que se extrae de la filtración es el efluente industrial de la Planta.



La Planta comprende tres actividades principales:

- Filtración
- Recepción, Carga y Despacho de Trenes
- Tratamiento de Agua

En el diagrama siguiente se describen gráficamente estas actividades.



Se reciben en la planta de filtrado a través del mineraloducto, cerca de 90 m³/hora de pulpa de concentrado de cobre.

 SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR	
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 12 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Filtración: Es la operación por la cual se disminuye el contenido de humedad de la pulpa desde un 37% hasta un 7-8% como valor final con el cual el concentrado es enviado a Puerto Alumbarrera. Para este proceso de filtración Batch, se utilizan 3 filtros prensa verticales, uno de ellos en stand by, marca Larox, cada uno con 120 m² de superficie de filtración que tiene una capacidad de descarga de sólido de 12Tn/15' aproximadamente, volviendo a recargarse de pulpa en forma automática.

Estos equipos son alimentados con pulpa mediante una bomba centrífuga desde el tanque de stock (TK20), de 2000 m³ de capacidad, hasta llenar las cámaras de filtración. La pulpa dentro del TK20 se hace recircular a través de bombas a un flujo de 80 m³/h, pero cuando la válvula de by pass se abre para conducir la misma hacia los filtros la velocidad del recirculado aumenta a 400 m³/h. Posteriormente, la pulpa es presionada contra la tela filtrante utilizando aire a alta presión; para alcanzar la humedad final requerida es necesaria una etapa de secado con soplado por aire.





Filtro Vertical "Larox" de 20 placas.

La apertura y cierre del filtro prensa y la descarga del concentrado a la pila de acopio correspondiente se hace en forma automática y a través de un accionamiento hidráulico; las pilas de acopio se ubican en un piso inferior por debajo de cada filtro prensa en el galpón de almacenamiento y despacho del concentrado.

Recepción, Carga y Despacho de Trenes:

En un mismo galpón se realizan estas tres operaciones. Para la carga se utiliza un cargador frontal Caterpillar 988 cargando el concentrado desde las pilas de acopio a los vagones. Cada vagón se coloca sobre una balanza y se completa hasta las 52 Tn de concentrado cada uno y se le coloca una tapa con sistema de cierre a presión.

	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 13 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			



La capacidad de producción diaria de concentrado es de 2400 Tn/d mientras que la operativa diaria de transporte en tren es de 2800 Tn necesitando un total de 55 vagones por formación para el transporte a Puerto Alumbraera, esto significa que se produce casi una formación/día.



La empresa cuenta con cuatro locomotoras y 180 vagones con los cuales se pueden conformar 3 formaciones completas de 55 vagones cada una y en disponibilidad una locomotora y 15 vagones.

Recuperación de Sólidos y Tratamiento de Efluentes:

El agua eliminada de los filtros prensa contiene sólidos por lo cual es llevada a un Tanque Clarificador donde se le agregan floculante (0,8%) y coagulante (0,5%) a los fines de acelerar la velocidad de decantación y cambiar la condición de las cargas de las partículas respectivamente. El sólido recuperado es bombeado en forma de pulpa hacia el TK20 mientras que el agua de rebalse es transportada a una pileta de decantación de 2500 m³ de capacidad en la que se produce una lenta sedimentación del concentrado de cobre. Dos veces al año se pasa un barrefondo manual para aspirar el sólido decantado el cual es también bombeado al tanque alimentador (TK20) mientras que el agua sigue un proceso de tratamiento y purificación físico-química que incluye el agregado de nutrientes nitrogenados y fosfáticos.



ESPEADOR PANTA DE FILTRADO

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 14 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

3.6.- OPERACIÓN EN PUERTO ALUMBRERA:

El Puerto de Minera Alumbreira Ltd., está situado en Puerto San Martín, San Lorenzo, provincia de Santa Fe,

La comisión fue recibida por el personal de Minera Alumbreira Ltd. Ing. Luis E. Persig e Ing. Gabriel F. Farías, Superintendentes de Ferrocarril & Puerto y de Marketing & Ventas respectivamente.

Las muestras de concentrado se tomaron en la tercera semana del mes de marzo de 2009, durante la carga del navío MV "Waffle Racer", cuya carga fue de 22.000 toneladas de concentrado, divididas en dos parcelas y cuyo destino es Alemania. El material a muestrear, es el concentrado producido por Minera Alumbreira Ltd. obtenido por flotación en la planta ubicada en la provincia de Catamarca, desde donde es bombeado en forma de pulpa con 60 % de sólidos aproximadamente, a través de un mineraloducto de aproximadamente 370 Km hasta la ciudad de San Miguel de Tucumán, donde es sometido a un proceso de filtración con la finalidad de eliminar la mayor parte del agua, resultando un concentrado con 7 a 7,5 % de humedad promedio. El producto es cargado en vagones de ferrocarril y transportado hasta el Puerto Alumbreira en San Lorenzo, Pcia. de Santa Fé.

La composición media del concentrado es: de **25 a 27 % de Cu**, de **20 a 30 g/Tn de Au** y de **50 a 90 g/Tn de Ag**, con una granulometría 90 % pasante # 400 ASTM, y con una humedad promedio de 7,5 % de H₂O.

La operación que la empresa desarrolla en Puerto Alumbreira, se esquematiza en el flow sheet mostrado en la Figura 3.6.1; cabe destacar que durante todo este recorrido, el concentrado no sufre cambio químico ni metalúrgico.

Las instalaciones cuya operación se describe abajo, tiene una capacidad de movimiento de 50 a 60 mil toneladas mensuales de concentrado húmedo, esto es unas 600.000 toneladas al año.

El concentrado llega al Puerto desde la planta de filtros ubicada en la provincia de Tucumán por trenes pertenecientes a Minera Alumbreira.

Al llegar el tren al establecimiento se remueve el techo que cubre cada vagón mediante un puente grúa, luego los vagones son descargados uno a uno con la ayuda de una retroexcavadora, tardando 8 minutos en la descarga de cada unidad. La retroexcavadora descarga el concentrado en un alimentador de cinta, el que alimenta una cinta transportadora ascendente con cabezal móvil, que tiene como función la distribución del concentrado en el stockpile de 50.000 toneladas de capacidad; la pila se encuentra dentro de un edificio acondicionado para esta finalidad. El concentrado estocado en la pila, es removido por dos palas cargadoras frontales que introducen el concentrado en las tolvas de tres alimentadores continuos, y que descargan el material a una cinta transportadora, de esta manera el concentrado es llevado a la estación de pesaje y muestreo. Una vez muestreado y pesado, el concentrado es transportado por una cinta horizontal y luego por una inclinada hasta la cinta móvil diseñada para descargar el concentrado en las bodegas de los barcos.

Estas instalaciones, están en condiciones de cargar de 1100 a 1150 toneladas por hora.



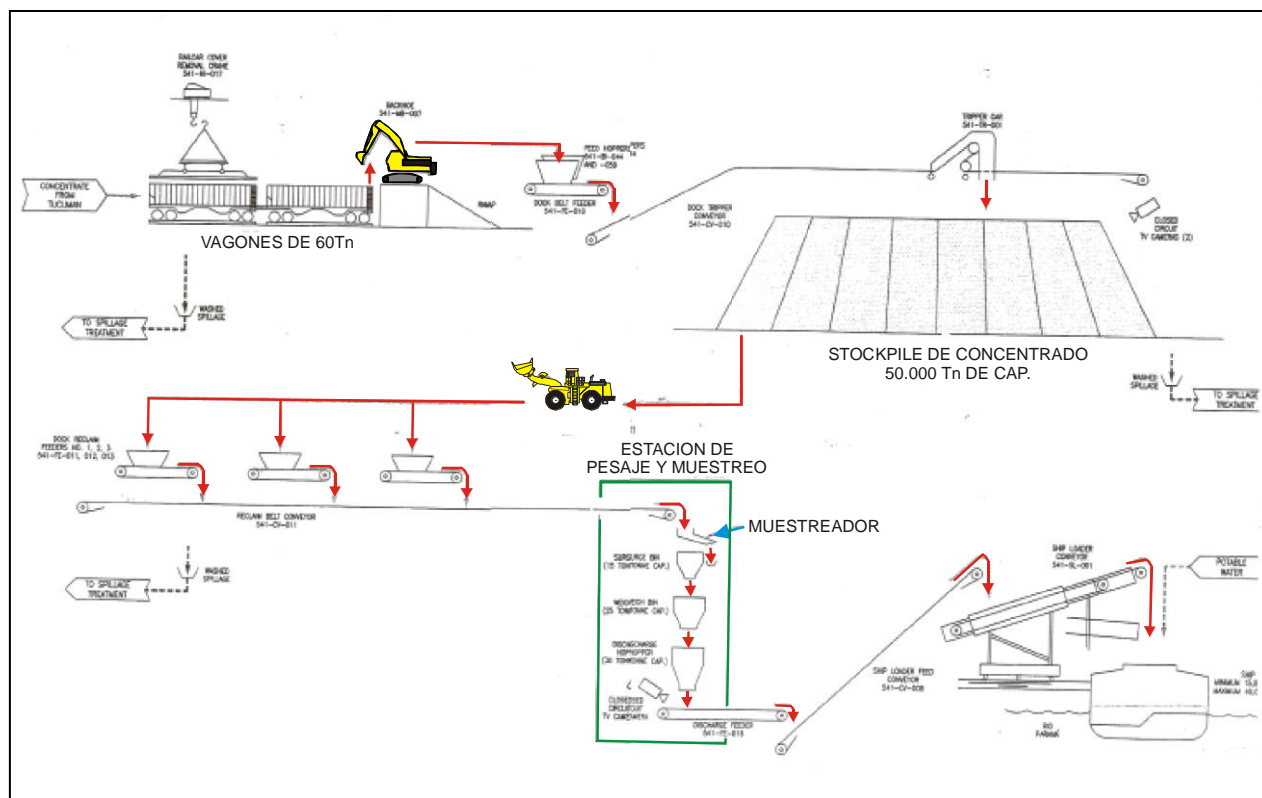
 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 15 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

FIGURA 3.6.1
FLOW SHEET DE OPERACIÓN EN PUERTO ROSARIO



4.- EL MUESTREO:



Con la finalidad de cumplir con el objetivo, se tuvieron en cuenta algunos aspectos teóricos que involucran a la toma de una muestra para que esta sea realmente **representativa**. En el Anexo: 1, se aporta un resumen de la teoría de muestreo que se tuvo presente al realizar el “plan de muestreo” de todas las operaciones de Minera Alumbreira Ltd.

4.1.- PUNTOS DE MUESTREO:

En la determinación de los puntos de muestreo en la planta de Minera Alumbreira, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Objetivos planteados
- Características del producto a muestrear
- El Proceso Metalúrgico
- El peso mínimo de muestra

Luego de entendido el proceso metalúrgico en las plantas de Minera Alumbreira Ltd. tal como se describe en el punto 3 de este informe, y que se puede resumir como: la entrada de un mineral de cabeza y la salida de colas finales y un concentrado, se decidió muestrear no solamente el

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	Fecha: 18/12/10 Página N°: 16 de 31	
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

concentrado final, esto es el producto comercializable, sino también el mineral de alimentación a la planta (mineral de cabeza) y las colas finales del proceso metalúrgico.

La decisión de elegir los componentes a muestrear descriptos arriba, se basa en la idea de poder hacer un **“balance metalúrgico”** para cualquier metal componente de la alimentación y que luego se detecte en el concentrado o cola.

El balance de finos (*) se podrá realizar una vez que se dispongan de los resultados de los análisis químicos, a los que será sometida la muestra, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Balance de finos: } fF = cC + tT$$

Donde:

f: Ley de la alimentación

F: Peso de la alimentación

c: Ley en el concentrado

C: Peso de concentrado

t: Ley en las colas

T: Peso de las colas

$$(*) \text{ Fino} = \frac{\text{Peso} \cdot \text{Ley}}{100}$$

4.2.- MUESTREO EN PLANTA DE CONCENTRACIÓN DE COBRE-ORO-PLATA

ALIMENTACION:

Tal como se mencionara largamente en el punto 4.1 de este informe, el diámetro de partícula a muestrear (a) influye fuertemente en el tamaño mínimo de muestra a tomar ($W = k.a^3$), para que esta sea representativa; este concepto se tuvo muy en cuenta al decidir muestrear la alimentación a la planta (mineral de cabeza) en los rebalses de los hidrociclones que se encuentran en circuito cerrado con los molinos de bolas, y donde el tamaño de partículas es pasante los 100 micrones, diámetro que asegura que el tamaño de muestra tomado es perfectamente representativo.



Hasta este punto de muestreo y desde que el mineral ingresa a planta, la mena no ha sufrido ningún cambio en su composición, ya que no se ha realizado hasta acá ningún proceso de concentración, solo se la ha reducido el tamaño de partícula, por lo que representa perfectamente el mineral que viene de mina (run of mine).

CONCENTRADO:

El punto de muestreo del concentrado final, se tomó exactamente a la salida de planta y antes de entrar a los tanques espesadores, donde a posterior se realiza solamente un desaguado del concentrado, sin que este sufra ningún cambio en su composición, por lo que la muestra es perfectamente representativa del material que se transporta por el mineraloducto a la planta de Tucumán. El tamaño de partícula en este caso es 80% pasante # 400, por lo que el peso de muestra tomado, también garantiza la representatividad del muestreo.

COLAS FINALES:

El punto de muestreo en este caso, es el lugar donde se juntan las colas de la flotación rougher y cleaner, para luego dirigirse al dique de colas, sin sufrir ningún proceso de beneficio o agregado adicional de materia, por lo que este punto de muestreo garantiza que la muestra represente las

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR	
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 17 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

colas finales del proceso de beneficio. Por otro lado, y al igual que el concentrado, el peso de muestra tomado a un tamaño – 400 #, garantiza la representatividad de esta.

4.2.1.- METODO DE MUESTREO:

La extracción de las muestras se llevó a cabo siguiendo procedimientos internos de la empresa consensuados previamente con los integrantes de la comisión. En todos los puntos de muestreo se trató de muestras de pulpas de 30 % de sólidos. Cabe mencionar que durante la obtención de la muestra, se encontraban presentes todos los integrantes de la comisión y personal de la empresa.

Se tomaron dos lotes de muestras en tres puntos estratégicos del proceso, definidos como “puntos de muestreo” y descritos anteriormente. Las muestras tienen como objetivo la realización de análisis químicos polimetálicos para definir las leyes del mineral de cabeza, del concentrado y de la cola del proceso de beneficio.

El muestreo del primer lote se realizó el 26 de febrero de 2009 durante la mañana y el segundo lote se tomó en los mismos puntos del primero cinco horas más tarde.

En el cuadro siguiente se da la ubicación de los puntos de muestreo indicando a que muestra representa y su respectiva identificación:

MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	IDENTIFICACIÓN	
		Lote 1 (mañana)	Lote 2 (tarde)
Alimentación	Rebalse de los hidrociclones primarios	SM1A	SM2A
Concentrado Final	Celdas de flotación secundaria o de limpieza (cleaner)	SM1C	SM2C
Cola Final	Salida final de las colas hacia el dique de colas	SM1T	SM2T

La toma de muestras en cada punto respondió a la siguiente metodología:



ALIMENTACION SM1A y SM2A:

La toma de muestra de la pulpa de alimentación a planta (mineral de cabeza), se realizó en los rebalses de los hidrociclones con muestreadores manuales (hand sampling cuttres).

Como se mencionara en el punto 3, la planta tiene dos líneas de producción idénticas, por cada línea se encuentran dos baterías de hidrociclones, con doce hidrociclones cada batería (48 hidrociclones en total), Para el muestreo de la alimentación, se tomaron muestras de pulpa de los rebalses de cuatro hidrociclones de cada batería, elegidos de forma cíclica; o sea se efectuó un común (mezcla de muestras) de 16 muestras de rebalses, correspondientes a 16 hidrociclones de ambas líneas de producción.



Muestreo manual de la Alimentación

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 18 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Cada muestra común representa 10 litros de pulpa, que luego del secado equivale a 1,6 kg. aproximadamente

CONCENTRADO SM1C y SM2C:

Como se mencionara anteriormente, la muestra de concentrado se tomó a la salida de la última celda de limpieza o cleaner, antes de la entrada al espesador.

El muestreo se realizó por medio de un muestreador mecánico estacionario, de corte total de flujo, este muestreador se usa para los muestreos de rutina de planta, que sirven para corregir las variables metalúrgicas, y funciona en forma continua, realizando cortes totales de flujo a intervalos prefijados, obteniéndose dos muestras comunes por día, de 10 litros de pulpa cada una.



Muestra de concentrado
Muestreador estacionario

Para la obtención de las muestras SM1C y SM2C, se interrumpió el muestreo rutinario por unos minutos, forzando el muestreador estacionario a producir cortes de flujo de la pulpa, hasta obtener los 10 litros de muestra deseada, que una vez seco representó 2,4 y 1,8 kilogramos respectivamente.

COLAS FINALES SM1T Y SM2T:

Como se mencionara anteriormente, las muestras de colas se tomaron en el canal de salida de las colas de planta, cuando ya se dirigen al dique de colas.

Al igual que en caso de los concentrados, el muestreo se realizó mediante un muestreador mecánico estacionario, de corte total de flujo, usado para muestreos de rutina.

Al ser de corte total de flujo, este tipo de muestreadores generan muestras bastante representativas de las porciones de pulpa tomadas, pues evitan el error producido por la segregación del sólido en el flujo.

Las muestras SM1T y SM2T, se tomaron desconectando el timer del muestreador mecánico, hasta obtener los 10 litros de pulpa, que contenían 1,6 kilogramos de sólido cada una.



4.2.2.- PREPARACION DE LA MUESTRA:

Las muestras obtenidas en los puntos de muestreo con la metodología mencionada arriba, están representadas por 10 litros de pulpa cada una con 30 % de sólidos.

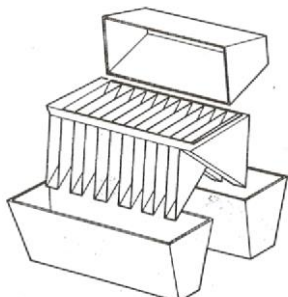
El primer tratamiento de las muestras se realiza en la misma planta, y consiste en un filtrado con filtro prensa hasta el desaguado de las mismas, existen dos líneas de filtro prensa, una es usada para componentes de baja ley (colas y alimentación) y la otra para alta ley como los concentrados, esta metodología se realiza con buen criterio, para evitar la contaminación de las muestras filtradas.



Filtrado de muestras

 SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR	
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 19 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

El producto de la filtración de las muestras, representados por una pasta, es transportado en bandejas perfectamente individualizadas al laboratorio de preparación de muestras.



CUARTEADOR JONES

Las bandejas conteniendo las muestras son secadas en estufas durante 12 horas a 120 °C, luego de este periodo se enfrían, obteniéndose un polvo grueso. De este punto en adelante, la preparación de muestras se aparta del protocolo rutinario de la empresa, continuándose con las pautas vertidas por los integrantes de la comisión SECRETARIA DE MINERIA – AFIP ADUANA.

La preparación de las muestras en laboratorio se realizó siguiendo el orden de menor ley a mayor ley, a fin de evitar la contaminación de las mismas.

Las muestras secas, son sometidas a un proceso de disgregación con rolo metálico, de manera de deshacer los grumos y evitar errores por segregación; una vez disgregado los grumos, la muestra es roleada, procedimiento que se usa para homogeneizarla, lo ideal es que este proceso se realice con material descartable (papel) para evitar contaminaciones sucesivas; si bien en esta ocasión se usó material plástico, se observó la correcta limpieza del mismo, entre una muestra y otra.

Del total del peso de muestra obtenida hasta el momento, se procede a una segunda homogenización en cuarteado, luego de la cual se efectúa un doble cuarteo en cuarteador tipo Jones; obteniéndose cuatro porciones representativas de la muestra.

4.2.3.- LA MUESTRA:

De las cuatro porciones de muestra, una es entregada al personal Minera Alumbreira, mientras que el resto (tres cuartos) es retenido por el personal de la comisión.

Las muestras son embaladas en bolsas metalizadas, provistas por la empresa, también se procede a una doble individualización de las mismas, una de acuerdo al protocolo de la empresa y la otra nomenclatura es aportada por los integrantes de la comisión; esta última es la que prevalecerá de ahora en adelante.



Las bolsas metalizadas son cerradas, y luego selladas con un sticker que contiene las firmas de los integrantes de la comisión y del personal de la empresa que intervino en el proceso.



Presentación final de una muestra

Las seis muestras, cada una representada por tres bolsas metalizadas (tres porciones de cuarteo), fueron entregadas al Lic. Guillermo Cozzi, para ser llevadas en forma personal a los laboratorios del Intemin-Segemar para su posterior análisis.

En la tabla siguiente se dan los pesos de cada muestra:

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			 SegemAR
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	Fecha: 18/12/10 Página N°: 20 de 31	
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Identificación Muestra	Peso Total (g)	Peso aproximado por cuarto (g)	Peso de muestra Para INTEMIN – SEGEMAR (g)
SM1A	1600	400	1200
SM1C	2400	600	1800
SM1T	1600	400	1200
SM2A	1600	400	1200
SM2C	1800	450	1350
SM2T	1600	400	1200

4.3.-MUESTREO METALURGICO EN PLANTA DE MOLIBDENO:

La línea de producción de concentrado de molibdeno tiene tres puntos de muestreo para su control y análisis, los mismos están ubicados en: 1- alimentación de planta de molibdeno antes del ingreso a tanque de acidificación (tanque 100); 2- concentrado final y 3- colas, antes del ingreso al tanque de almacenamiento del concentrado de cobre.

Los dos primeros muestreos se realizan con un sistema automático de muestreo donde el flujo es cortado en forma total e instantánea con una paleta llamada “aleta de tiburón”, separando un incremento de muestra cada hora. El muestreo de colas se realiza manualmente.

Con los incrementos tomados se componen dos tipos de muestra: una denominada “puntual” cada dos horas (dos incrementos consecutivos) y otra denominada “compósito de turno” cada doce horas, formada por 12 incrementos consecutivos.

4.3.1.- MUESTREO DE EXPORTACION DEL CONCENTRADO DE MOLIBDENO:

Como ya se mencionó al describir el proceso, el concentrado es embolsado en bolsones o “maxisacos” de aproximadamente 1500 kg cada uno siendo muestreados en forma individual utilizando una sonda hueca “tipo lanza” de 1½” y 1,5 m de longitud, de acuerdo al siguiente procedimiento:



Se practican 5 incrementos, uno en el centro y cuatro en la periferia desde la superficie hasta el fondo del bolsón y se vuelcan los mismos en un sobre plástico que se identifica con el número de maxisaco. Se toma un incremento de aproximadamente 100 gramos para la determinación de humedad. La misma se realiza mediante una balanza halógena que va secando y registrando el peso en forma continua hasta llegar a peso constante.

La bolsa con muestra sobrante de cada bolsón se extiende sobre una bandeja de acero y se coloca en una estufa a 80°C durante 48 horas hasta peso constante.

Dado que el peso máximo que puede ser transportado por cada camión utilizado es de aproximadamente 26 Tn. se conforman “lotes” de 16 maxisacos rondando los 1500 kg cada uno; por esta razón el muestreo por “lote” está formado por 16 muestras de maxisacos.



BALANZA HALOGENA

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	Fecha: 18/12/10 Página N°: 21 de 31	
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Para preparar la muestra representativa de cada lote se procede de la siguiente manera:

La muestra seca de cada maxisaco se extiende sobre una bandeja de acero y sobre ella se dibuja una cuadrícula de 3 x 3, tomando con una espátula pequeños incrementos en los vértices y en el centro, cinco en total, reuniendo entre 200 y 250 gramos por muestra, los cuales se colocan en una bolsa de plástico grande que reunirá a los correspondientes a los 16 maxisacos que conforman el lote.

El material de la bolsa se homogeniza agitando la bolsa "roleo" en tres repeticiones de 20 sesiones cada una. Luego se pasa el total por un cuarteador Gilson, (modelo SP55), tomando los baldes opuestos, los que se reúnen y reducen por cuarteos sucesivos hasta lograr 9 muestras de 200-250 gramos cada una mediante un cuarteador Rifley. Las muestras obtenidas son ensobradas e identificadas con el nombre y lote para su análisis y envío a personal de laboratorio de Planta Molibdeno en donde se analiza Mo, Cu, Au, Ag, Fe, Ca, As, P, S y Re.



CUARTEADOR GILSON

4.4.- MUESTREO EN LA PLANTA DE FILTROS- TUCUMAN:



De acuerdo al diagrama de flujo descrito en punto 3.5 se tomó una muestra de pulpa del concentrado proveniente del mineraloducto a la entrada del Tanque de alimentación de la Planta de Filtros y una muestra del sólido, listo para despachar vía ferrocarril a Puerto Alumbreira, en el stock pile ubicado en el galpón de carga de vagones. En el cuadro siguiente se da la identificación y características de las muestras recolectadas:

Identificación Muestra Secretaría de Minería	Identificación Muestra Minera Alumbreira LTD.	Producto	Ubicación Muestra	Cantidad aproximada
SM-PF1	Pulpa MAA 17/05/2011	Concentrado de Entrada	Tanque 20	1 litro
SM-PF2	Concentrado MAA 17/05/2011	Concentrado de Salida	Stock Pile	2 kg

4.5.- MUESTREO EN PUERTO ALUMBRERA:

El muestreo del concentrado, es la operación objeto de este informe; esta actividad se realiza en forma sistemática durante cada embarque en la Estación de Pesaje y Muestreo, el esquema del proceso se muestra en la Figura 4.5.1.

Antes de describir el procedimiento habitual de muestreo, se deben aclarar algunos términos:

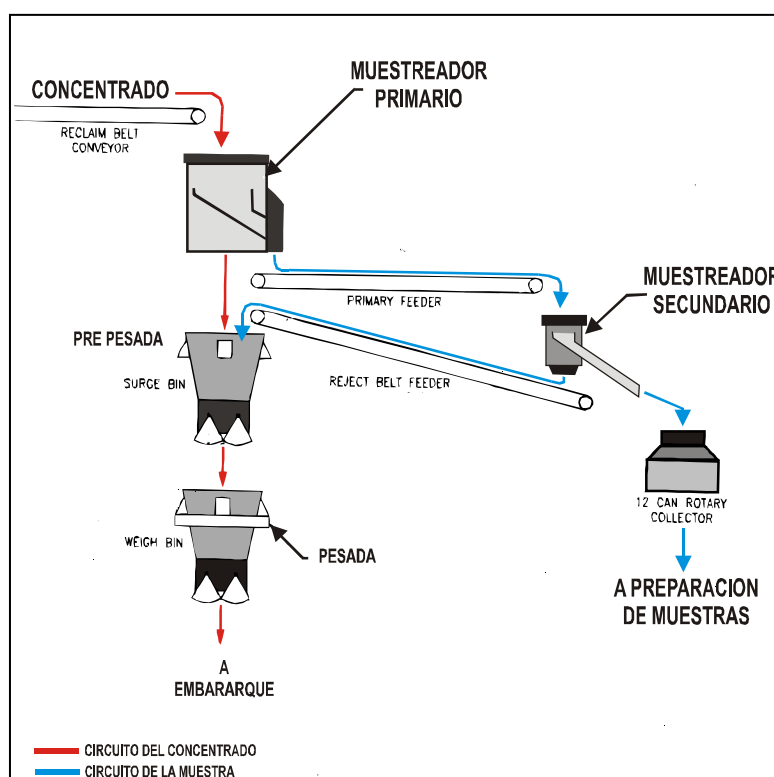
 SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 22 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

LOTE: Es el universo a muestrear, en este caso son lotes de 500 Tn.

EMBARQUE: Es todo el concentrado que es cargado en cada navío. Cada embarque puede tener varias parcelas.

PARCELA: Queda definida por la cantidad de concentrado que compra cada cliente a través de un contrato, cada parcela tiene un permiso de embarque distinto y también pueden tener distinto puerto destino.



**FIGURA 4.5.1
ESTACION DE PESAJE Y MUESTREO**



Tal como se describiera anteriormente, el concentrado durante el embarque es transportado en forma continua a las bodegas del barco, en el trayecto pasa por la estación de pesaje y muestreo, en donde el material es muestreado sistemáticamente en forma continua y luego es pesado en forma segmentada.

Como universo muestral se toman lotes de 500 toneladas; las muestras son tomadas por dos muestreadores mecánicos móviles colocados en serie entre sí, denominados Muestreador Primario (Foto 1) y Muestreador Secundario.

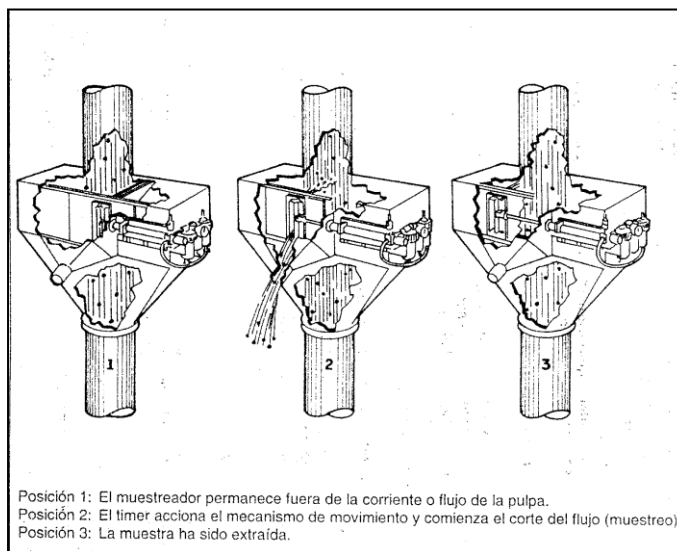
Los muestreadores mecánicos móviles, toman la muestra cortando el flujo completo de material mediante un rifle, en estos casos con movimiento rectilíneo; la Figura 3 ilustra el funcionamiento básico de estos muestreadores.

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 23 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

**FIGURA 3
MUESTREADORES MOVILES**



FOTO 1: Muestreador Primario



El muestreador primario toma las muestras de acuerdo al peso de concentrado, mientras que el muestreador secundario lo hace de acuerdo al tiempo; en este caso ambos cuarteadores están regulados de manera de tomar aproximadamente 11 kilogramos de muestra por lote de 500 toneladas a la salida del muestreador secundario.

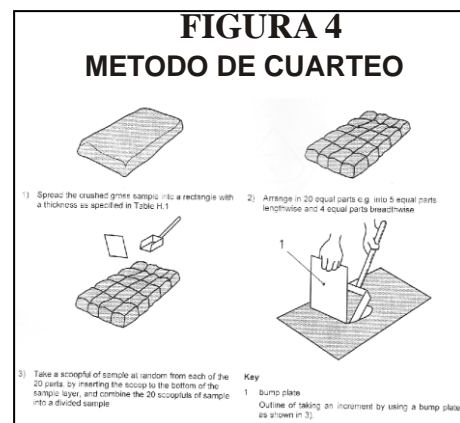
Como se ve en la figura 2, la muestra del primario, es tomada del flujo total de concentrado, el sobrante continúa su camino a la operación de pre pesada, mientras que la muestra tomada por éste es transportada por una cinta al muestreador secundario; el sobrante del muestreo es re enviado a la pre pesada, mientras que la muestra del secundario es transportada automáticamente al laboratorio de preparación de muestras.



Luego de la operación de muestreo, el concentrado pasa a un recipiente de pre pesada, que tiene por objeto interrumpir la continuidad del flujo, mientras se realiza el pesaje del concentrado que está en el recipiente de pesada. Esta información es totalizada por un sistema informático y registrada en forma continua.

4.5.1.-PREPARACION DE LA MUESTRA:

La muestra obtenida por el muestreador secundario, es transportada en forma automática al laboratorio de preparación de muestras, en donde es recolectada en bolsas de plástico y son pesadas continuamente, hasta que se termina de muestrear todo el lote (500 Tn).

La muestra así obtenida de aproximadamente 11 Kg ± 500 g, es sometida a un proceso de homogeneización manual (roleo) para ser luego extendida sobre una planchada de acero inoxidable, en donde por medio de un molde es dividida en 20 cuadrados iguales de 10 cm de lado cada uno, ver Figura 4.



 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 24 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

- Es importante destacar que tanto el muestreo en los muestreadores primario y secundario, así como el proceso de preparación de muestras que se está describiendo, se realiza de acuerdo a las **Normas ISO 12743**.

De cada una de los 20 cuadrados en la que es dividida la muestra, se retiran porciones idénticas y se colocan en 4 recipientes de acero inoxidable, de donde se obtienen cuatro (4) muestras de aproximadamente 1 Kg cada una, que representan estadísticamente a un lote. De estas cuatro muestras, dos se guardan para backup y dos pasan al proceso de secado.

Hasta este punto las muestras se encuentran con un 7,5 % promedio de humedad, el secado se realiza durante 8 horas en hornos, tiempo en el cual si no se hubiera eliminado toda la humedad, se secan por cuatro horas más a 110 – 120 °C.

Las muestras de aproximadamente 2 Kg, de cada lote, se someten a un proceso de disgregación en molinos de discos (charter), que tiene por finalidad romper los terrones formados durante el secado; luego se homogeneizan en un mezclador giratorio durante 2 minutos, ver Figura 5 y Foto 2. De ahí se alimenta la tolva de un partidor rotatorio, como el mostrado en el esquema de la Figura 6 y Foto 3, de donde se obtienen 8 porciones de aproximadamente 250 g cada una; estas muestras son identificadas y guardadas en sobres de aluminio termosellados, representando, como se dijo anteriormente, a un lote de 500 toneladas de concentrado.

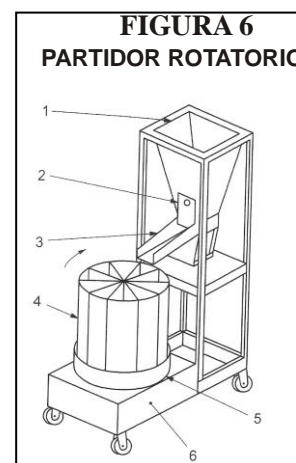
Dos de las porciones de muestra de cada lote, se reservan para formar al final del muestreo de todos los lotes una muestra “común” representativa de cada parcela.





**FOTO 2:
Mezclador
Giratorio**



FOTO 3: Partidor Rotatorio



Las muestras obtenidas de la forma anteriormente descrita, se distribuyen de la siguiente manera:

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 25 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

- 3 Muestras de cada lote y una muestra común de parcela para AFIP
- 1 Muestra de cada lote y una muestra común de parcela para YMAD
- 1 Muestra de cada lote y una muestra común de parcela para Depósito en Mina
- 1 Muestra de cada lote y una muestra común de parcela para Análisis Químico en Lab. de Mina.
- 1 Muestra común por parcela para Secretaría de Minería de Catamarca.

Cabe mencionar que el comprador, realiza sus propios muestreos y análisis químicos en el puerto destino.

4.5.2.- MUESTRA SMPA1 y SMPA2:

Antes de la obtención de las muestras, objetivo de esta comisión, el equipo de trabajo evaluó la siguiente situación: el embarque que se pretende muestrear es de 22.000 toneladas húmedas de concentrado, divididas en dos parcelas; de utilizar el método sistemático de muestreo utilizado por la empresa y descrito anteriormente, esto es una muestra por lote de 500 toneladas y un común por parcela, el plan de muestreo consistiría en la recolección de un total de 46 muestras de 250 gs. cada una.

Se consideró que el número de muestras era superabundante para el objetivo del trabajo, por lo que se tomó la decisión de tomar muestras representativas de cada parcela, usando la siguiente metodología:

Como se dijo anteriormente, este embarque es de 22.00 toneladas dividido en dos parcelas de 11.000 toneladas cada una, por lo que a cada parcela le corresponde 22 muestras de lote.

Durante el muestreo sistemático de lotes realizado por la empresa, descrito en el tercer párrafo del punto 5.-, se tomó una quinta muestra de 1 Kg cada una adicional por lote, para poder tomar una muestra representativa. De manera que se tuvo al final del embarque, las siguientes muestras húmedas:

Parcela 1: muestras de los lotes 1 a 22 (de 1 Kg c/u)

Parcela 2: muestras de los lotes 23 a 44 (de 1 Kg c/u)

De las muestras de cada parcela, se obtuvo una muestra “común”, a la que se le practicó una homogenización por roleo, obteniendo una muestra representativa por parcela de 22 kilos aproximadamente cada una.

Cada muestra de parcela se cuartea de acuerdo al procedimiento descrito en la Figura 4, reduciendo la muestra a aproximadamente 4 kilogramos por cada parcela, de las cuales 2 Kg quedan para Minera Alumbreira y 2 Kilogramos para Secretaría de Minería de la Nación.

Los 4 kilogramos de muestra de cada parcela, se homogenizan en mezclador giratorio (figura 5), durante 2 minutos, luego la muestra homogenizada es alimentada a la tolva del partidor giratorio, al cual llega el concentrado por medio de un alimentador vibratorio.

De las 8 porciones obtenidas por partición y por muestra, se toman 4 porciones de aproximadamente 500 g cada una para cada parte interesada y se las envasa en sobres de aluminio termosellado; luego se las coloca dentro de sobres de cartón, los cuales también son termosellados, obteniendo un cierre inviolable, se las identifica y se procede a la firma de los sobres por cada uno de los participantes en el muestreo (Foto: 4).



 <small>SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 26 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			





FOTO 4: Preparación de la Muestra

Según el esquema antes descrito, se tienen para la Secretaría de Minería de la Nación, dos muestras representativas de las parcelas que forman el embarque (SMPA1 y SMPA2), de acuerdo a la tabla mostrada abajo, quedando a disposición de Minera Alumbreira Ltd. un juego idéntico.

MUESTRA SEC. DE MINERIA	MINERA ALUMBRERA	AFIP – ADUANA Permiso de embarque	PESO Aproximado	PRESENTACION
SMPA1	XCCF09G02	09057ES03000012V	2 Kilogramos	4 sobres de 500 gs
SMPA2	GLNS09E02	09057ES03000013W	2 Kilogramos	4 sobres de 500 gs

A fin de poder tener una rastreabilidad de las muestras, se las etiqueta también de acuerdo a la nomenclatura de Minera Alumbreira y de la AFIP – ADUANA, este último organismo, utiliza para la identificación de las muestras el mismo número que el Permiso de Embarque de cada parcela.

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.			
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16		Fecha: 18/12/10 Página N°: 27 de 31
	Revisión: Lic. Gustavo Machado			

ANEXO: 1

ASPECTOS TEORICOS

RESUMEN:

Muestra: es una parte relativamente pequeña que se extrae de un todo para estudiar en ella las propiedades de aquel.

“La condición principal que debe reunir una muestra es que sea representativa del todo.”

Para que una muestra sea representativa del todo debe contener, en forma proporcional, un mínimo número de partículas, de todos los constituyentes mineralógicos. Este número depende entre otros, de los siguientes factores:

- Ley del mineral
- Granulometría
- Tipo de mineralización
- Grado de liberación de la sustancia valiosa
- Forma de las partículas.

En la práctica se trabaja con el **Peso Mínimo** de muestra para que esta sea representativa.

4.1.a.- MUESTRAS CON INFORMACION PREVIA:

Para muestras en donde existe una disponibilidad de información previa, se utiliza la teoría de Pierre Gy, que en una forma general se puede expresar como sigue:

$$\frac{M \cdot L}{L - M} = \frac{C \cdot d^3}{s^2}$$

Donde:

M: Peso mínimo de muestra (g)

L: Lote, peso bruto del material a muestrear (g)

C: Constante del material a muestrear (g.cm⁻³)

d: Diámetro de la partícula más grande del lote a muestrear (cm)

s²: Varianza

La varianza s², es una medida del error estadístico cometido en el muestreo, indica la confianza en el resultado. La varianza determinada por P. Gy está compuesta de errores en el manipuleo de la muestra, errores de preparación de la muestra y errores en el análisis químico, por lo tanto la varianza total (s²_t) será:

$$S^2_t = s^2 + s^2_s + s^2_a$$



Donde:

s²_s: varianza producida durante el muestreo

s²_a: varianza producida por el análisis químico.

La constante del material a muestrear o constante específica de cada mena: C, toma en cuenta el contenido de mineral y grado de liberación:

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	
Revisión: Lic. Gustavo Machado			

Donde:

f: Factor de forma: Se toman valores de 0,5 para la mayoría de los minerales y 0,2 para oro, amianto mica, cianita etc.

g: Factor granulométrico:

l: Factor de liberación. Toma valores de 0 a 1, 0 para materiales homogéneos y 1 para heterogéneos.

m: Factor mineralógico, se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a)r + at]$$

Donde :

a: Ley del mineral en el lote a muestrear

r y t: Pesos específicos del mineral y ganga, respectivamente.

➤ Modificaciones de la ecuación de Pierre Gy:

1.- Minerales con oro libre:

f y g se toma 0,2

d es mayor para minerales con oro grueso

L igual a 0,1

M = f / Ley de oro expresada en %

2.- Minerales con oro ligado:

La fórmula es difícil de aplicar por la dificultad en la determinación del grado de liberación L*.

La fórmula de P. Gy supone que las muestras se toman al azar y es más aplicable a flujos de materiales en cinta transportadora, pulpas, etc. que en depósitos estancos. La ecuación de P. Gy puede modificarse, debido a que en la mayoría de los casos M es muy pequeño comparado con L, se tiene:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

NOTA 1:

Tanto en la ecuación completa de Pierre Gy como en la versión simplificada, se nota la fuerte influencia que tiene el diámetro de la partícula de la muestra (d) con respecto al peso mínimo de muestra a tomar M.



4.1.b.- MUESTRAS CON ESCASA INFORMACION:

Este es el caso que se presenta comúnmente en trabajos de campaña. Por lo tanto el **Peso Mínimo de Muestra** se obtendrá a partir de:

1º.- Fórmulas adecuadas

2º.- Tablas, Gráficos etc.

En el **primer caso**, también se realiza un estudio estadístico. Para que la muestra sea representativa del todo, esta debe contener un número mínimo de partículas, que dependerá de:

 SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		 SegemAR
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	
Revisión: Lic. Gustavo Machado			

- Ley de la sustancia valiosa
- Precisión deseada
- Grado de liberación

Asumiendo que todas las partículas están libres y que la ley no varía con el tamaño de partícula, se puede demostrar que el número mínimo de partículas que debe tener la muestra es:

$$n = 0,45 \frac{x}{y^2}$$

Donde:

x: Es el contenido volumétrico, ley relativa expresada en % de mineral portador de la sustancia que se investiga.

y: Es el error probable de muestreo, también expresado en contenido volumétrico. El límite práctico del error estadístico es tres veces la varianza.

Dado que no resulta práctico trabajar con el número de partículas, se recurre al uso del **peso mínimo de muestra**. Este se determina dividiendo a n por el número de partículas n' contenidas en un gramo.

$$n' = 6 / \sigma a^3$$

Donde:

n': Número de partículas contenidas en un gramo

σ : Peso específico de la mena.

a: Abertura de la malla (límite superior de tamaño de partícula del material) (en cm)

Luego, el peso mínimo de muestra (W):

$$W = \frac{0,45 x}{6 y^2} \sigma a^3$$

Para condiciones dadas la ecuación anterior puede escribirse como:

$$W = k.a^3$$

Donde k es una constante

NOTA 2: Nótese acá también, como en el caso de P. Gy (Nota 1), la fuerte influencia que tiene el diámetro máximo de partícula en el peso de muestra a tomar.



EJEMPLO:

Dado un mineral de calcopirita con 3 % de Cu y Peso específico 3. Calcular el peso mínimo de muestra para diferentes tamaños, considerando que la ley no varía con la liberación de la calcopirita con la reducción de tamaño de la MENA. Además se necesita una precisión de 0,01 % de Cu en el muestreo. Los valores de ley y peso específico son 34,5 % de Cu y 4,2 respectivamente.

La ecuación:

$$W = \frac{0,45 x}{6 y^2} \sigma a^3$$

Puede escribirse:

 <small>SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN</small>	MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.		
	Ejecución: Ing. Ricardo Parra Lic. Guillermo A. Cozzi Lic. Gabriel del Mármol	INFORME FINAL Revisión: 5 de 25/6/16	
Revisión: Lic. Gustavo Machado			

$$W = k \cdot a^3$$

Para calcular el valor de k, se aplica:

$$k = \frac{0,45 \times \sigma}{6 y^2}$$

Los valores de x e y se determinan multiplicando la relación ley (o precisión) estimada (requerida) a la ley teórica del elemento valioso con la relación del peso específico medido al teórico.

$$x = \frac{\text{P.e. medido}}{\text{P.e. teórico}} \cdot \frac{\text{Ley estimada}}{\text{Ley teórica}} = \frac{3}{4,2} \cdot \frac{3 \times 10^{-2}}{34,5 \times 10^{-2}} = 6,2 \times 10^{-2}$$

$$y = \frac{3}{4,2} \cdot \frac{1 \times 10^{-4}}{34,5 \times 10^{-2}} = 2,1 \times 10^{-4} \quad ; \quad y^2 = 4,41 \times 10^{-8}$$

Reemplazando estos valores en: $k = \frac{0,45 \times \sigma}{6 y^2}$

Se tiene:

$$W_i = 3,16 \times 10^5 \cdot a^3$$

En el **segundo caso** también se pueden utilizar tablas y gráficos para la determinación del peso mínimo de muestra a tomar, para que esta sea representativa

A continuación se da como ejemplo la utilización de un gráfico para determinar el peso mínimo de muestra a tomar, en este caso se considera la situación de Minera Alumbreira, en la toma de una muestra de alimentación a la planta, considerando dos puntos de muestreo:

1.- Toma de muestra de alimentación a planta a la salida del molino SAG, cuyo tamaño máximo de partícula es $\frac{1}{2}$ ", de acuerdo al gráfico la cantidad mínima de muestra para este tamaño es 70 libras, esto es **31,75** Kilogramos.

2.- Toma de muestra de alimentación a planta a la salida de los hidrociclones que están en circuito cerrado con los molinos de bolas, y cuyo tamaño máximo de partícula es menor a 100 micrones, esto es pasante # 150 Tyler; de acuerdo al gráfico el peso mínimo de muestra representativa es 0,005 libras, esto es **2,26** gramos



SECRETARÍA DE
MINERÍA DE LA
NACIÓN

MUESTREO DE PRODUCTOS MINERA ALUMBRERA LTD.

Ejecución: Ing. Ricardo Parra
Lic. Guillermo A. Cozzi
Lic. Gabriel del Mármol

INFORME FINAL
Revisión: 5 de 25/6/16

Fecha: 18/12/10
Página N°: 31 de 31



Revisión: Lic. Gustavo Machado

PESO MINIMO DE MUESTRA

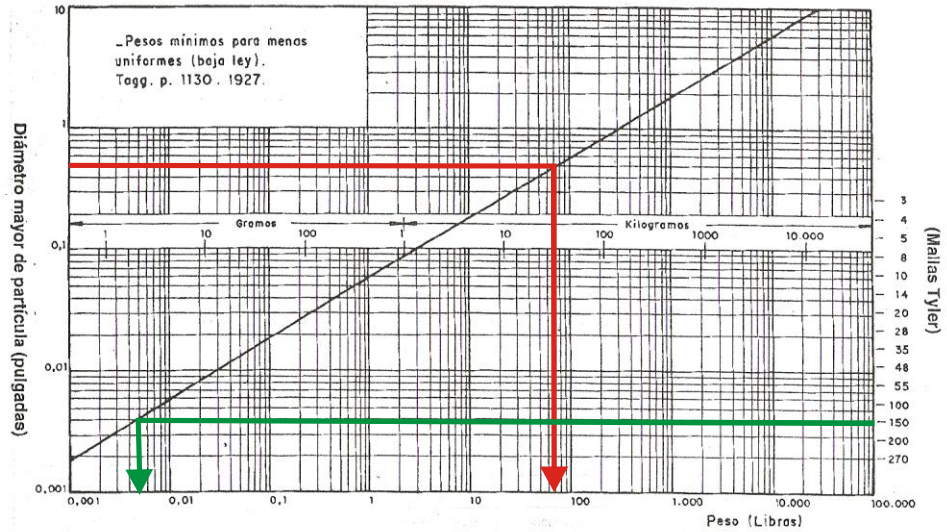


Figura 1.3.4. Peso mínimo de muestra